

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: 200324013

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

高性能硅基发光材料及硅 MSM 结构

光电探测器的研制

The Research and Fabrication of Silicon-based Light Emitting  
Materials and Si-MSM-PD with Better Performance

黄燕华

指导教师姓名: 陈松岩 教授

专业名称: 凝聚态物理

论文提交日期: 2006年4月

论文答辩时间: 2006年6月6日

学位授予日期: 2006年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2006年6月

## 摘要

硅是目前世界上矿藏最丰富且微电子工艺最成熟的半导体材料，也是光电集成最理想的半导体材料。但是由于硅具有间接带隙，跃迁几率很低，引起硅的发光效率极低，并且发光不稳定，因此硅基发光一直是硅光电集成中最重要的难题。另外，为实现全硅光电集成，硅探测器在光互连，大容量通讯等领域中具有深远的应用前景。硅 MSM 结构光电探测器工艺简单，与 CMOS 等工艺兼容，是硅光电集成研究的一个热点。但是，由于硅本身对光的吸收系数比较低引起对光的吸收长度较长，从而引起硅 MSM 结构光电探测器响应速率和响应度不高。

本文针对以上两个问题进行了研究，并为硅基光电单片集成做准备工作：

一. 多孔硅发光的制备和钝化研究。硅的发光效率低及不稳定是限制硅基发光的关键瓶颈，本文提出一种新颖的臭氧 ( $O_3$ ) 环境制备和钝化方法来改善多孔硅的发光效率，取得以下重要结果：

1. 该方法制备的多孔硅比传统方法制备的多孔硅发光强度增大了近一个数量级；
2. 对 $O_3$ 环境下制备和钝化的多孔硅的发光稳定性进行了两方面的研究。一方面对样品进行高功率激光持续照射 30 分钟的 PL 演变测试，发现不管是新鲜样品还是自然环境中存放 129 天的样品，持续的激光照射只引起很小量的 PL 强度衰减然后就基本维持稳定状态；另一方面对样品进行存放 158 天跟踪测试，发现在开始存放的 61 天内，发光强度不断增强，61 天之后，发光强度则基本保持稳定状态。两方面的稳定性研究与前人的实验报道具有更好的发光稳定性效果。
3. 通过 XPS, PL, FTIR 等测试表明臭氧环境下制备的样品表面的钝化膜比较致密，氧化程度比较高，并且样品表面的化学成分基本稳定，这是样品发光强度和稳定性改善的原因。

二. 硅 MSM 光电探测器的制备。为提高硅 MSM 光电探测器的响应度和响应速度，本文以实验室现有条件为基础，进行了下列工作：

1. 设计了平版和凹槽两种电极结构以及 5-5 $\mu\text{m}$  和 5-10 $\mu\text{m}$  两种尺寸的硅 MSM 结构探测器；

2. 在本实验室内，完成了版图制备，整套半导体器件工艺流程，以及器件封装测试等工作；
3. 器件性能测试发现凹槽电极结构的探测器比平版型探测器在响应度方面提高了约 6 倍，5V 偏压下，凹槽电极结构的探测器对 650nm 波长激光的光电响应度可达到 0.486A/W，内量子效率达到了 92.9%；
4. 针对所制备的探测器暗电流偏大问题，我们也对其进行了分析讨论。

本文的主要创新点有：

1. 所采用的 $O_3$ 环境制备和钝化多孔硅方法未见报道。该法具有制备简单，室温钝化的特点，且提高多孔硅发光强度和发光稳定性方面具有比国内或国外报道更好的效果。
2. U 型凹槽电极的硅 MSM 结构探测器在国内未见同类报道，其器件在 5V 偏压下对 650nm 波长激光的光电响应度为 0.486A/W，比平版电极结构的探测器提高了约 6 倍。

**关键词：**多孔硅；钝化；Si-MSM-PD；光谱响应度。

## Abstract

Silicon based optoelectronic devices have been investigated greatly, because of the great advantages afforded by this approach: an available well-developed and widespread technology, monolithic integration with control/driving electronics and low cost. But silicon is an indirect bandgap semiconductor, which makes it extremely unlikely light emission by free carrier recombination. Silicon-based light emission is the most important problem in silicon-based optoelectronic integrated circuits (OEICs). On the other side, in order to fulfill silicon-based OEICs, silicon metal-semiconductor-metal photodetectors (Si-MSM-PDs) are very attractive for many optoelectronic applications, such as optical communication, high-speed chip-to-chip connection, and high-speed sampling, because of the planarity of the double Schottky contacts, without mesa structures or special epitaxial layers, so that they can be easily integrated onto a single chip with a bipolar or complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) transistor preamplifier. However, the low carrier mobility and low absorbance cause a poor photogenerated carrier collection efficiency and a small responsivity.

In this paper, we have investigated silicon based luminescence materials and photodetector on two aspects as follows:

I. The fabrication and passivation of porous silicon (PS). We applied a novel method to fabricate and passivate PS by the aids of ozone ( $O_3$ ) to improve the PL efficiency. The performance test have showed very important advancement:

1. The PL of PS fabricated and passivated by the aids of  $O_3$  has been enhanced by nearly one order magnitude than that of PS fabricated by conventional method.
2. The stabilization of PL has been enhanced greatly both under continuous laser for 30 minutes and placed in air for 158 days. The stabilization of our sample is much better than that has been reported nationally and abroad.
3. We have explained the reason of performance improvement of our sample by analysing the chemical composition of PS with XPS and FTIR test.

II. The design and fabrication of silicon-based MSM photodetectors with improved performance.

1. In order to improve the responsivity time and responsivity, we have designed a novel Si-MSM-PD with U-shape trench interdigitated electrodes. Besides, Si-MSM-PDs with different interdigitated space has also been designed.

2. Based on the design of the structure of Si-MSM-PDs, we have fabricated the mask、the photodetectors with structures and interdigitated space.
3. The devices' performance test indicates that the responsivity of Si-MSM-PD with U-shape trench interdigitated electrodes is 0.486A/W for 650nm laser under 5V applied voltage. This responsivity is about 6 times larger than that of Si-MSM-PD with planar interdigitated electrodes. Besides, we have compare the performance of Si-MSM-PDs with different intergitated space.
4. We have also explained the reason for the large dark current of our photodetectors.

In addition, the main innovation of this paper is as follows:

1. It is a new technique to fabricate and passivate PS by the aids of O<sub>3</sub> and has never been performed on reports nationally and abroad. It is proved to be available to improve the PL characteristics of PS on the aspects of intensity and stabilization.
2. Si based MSM photodetector with U-shape trench interdigitated electrodes have never been performed on reports nationally. Its photoresponsivity for 650nm laser is about 6 times larger than that of Si based MSM photodetector with planar interdigitated electrodes under 5V applied voltage.

**Key words:** PS; Passsivation; Si-MSM-PD; Responsivity.

|   |    |
|---|----|
| 摘要  | i  |
| 第一章 前言  | 1  |
| 参考文献  | 5  |
| 第一部分 O <sub>3</sub> 环境制备和钝化多孔硅研究                  | 10 |
| 第二章 O <sub>3</sub> 环境制备和钝化多孔硅研究                   | 11 |
| § 2.1 多孔硅的制备                                      | 11 |
| § 2.1.1 标准法                                       | 11 |
| § 2.1.2 改进法                                       | 12 |
| § 2.2 XPS测试分析 5-ini-O <sub>3</sub> -1h样品表面的氧化情况   | 13 |
| § 2.3 新鲜样品 PL 比较                                  | 18 |
| § 2.3.1 多孔硅样品发光机理解释                               | 18 |
| § 2.3.2 FTIR 测试                                   | 19 |
| § 2.4 改进法制备样品的 PL 稳定性研究                           | 23 |
| § 2.4.1 5-ini-O <sub>3</sub> -1h样品在激光激发下的PL衰减     | 23 |
| § 2.4.2 5-ini-O <sub>3</sub> -1h样品PL及表面化学成分稳定性的研究 | 26 |
| § 2.4.3 O <sub>3</sub> 环境制备和钝化的PS存放与别人的存放实验比较     | 27 |
| § 2.5 第一部分小结                                      | 29 |
| 参考文献  | 30 |
| 第二部分 Si-MSM-PD 的器件优化设计与制备                         | 32 |
| 第三章 Si-MSM-PD 的基本工作原理和器件优化设计                      | 33 |
| § 3.1 硅MSM探测器工作原理                                 | 33 |
| § 3.1.1 能带结构                                      | 34 |
| § 3.1.2 电流—电压特性                                   | 38 |
| § 3.1.3 电容—电压特性                                   | 39 |
| § 3.1.4 MSM 探测器的几个主要性能参数                          | 40 |
| § 3.2 U型凹槽电极 Si-MSM-PD 的结构优化设计                    | 42 |
| § 3.2.1 凹槽电极器件结构设计                                | 43 |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| § 3.2.2 钝化层的设计·····       | 44        |
| § 3.2.3 器件结构尺寸的设计·····    | 45        |
| § 3.2.4 金属电极的选择·····      | 46        |
| § 3.2.5 器件设计结果·····       | 47        |
| 参考文献·····                 | 49        |
| <b>第四章 版图设计与器件制备·····</b> | <b>50</b> |
| § 4.1 版图设计·····           | 50        |
| § 4.2 器件制备·····           | 52        |
| 参考文献·····                 | 64        |
| <b>第五章 器件测试分析与结论·····</b> | <b>65</b> |
| § 5.1 暗电流测试并分析比较·····     | 65        |
| § 5.2 光电流测试并分析比较·····     | 70        |
| § 5.3 相对响应光谱·····         | 74        |
| § 5.4 绝对光电响应度·····        | 76        |
| § 5.5 第二部分小结·····         | 79        |
| 参考文献·····                 | 81        |
| <b>第六章 总结·····</b>        | <b>82</b> |
| 附录·····                   | 84        |
| 致谢·····                   | 85        |

## Contents

|  |    |
|--|----|
| <b>Abstract</b> .....  | i  |
| <b>Chapter 1 Preface</b> .....   | 1  |
| <b>Reference</b> .....   | 5  |
| <b>Part I PS fabricated and passivated by O<sub>3</sub></b> .....                    | 10 |
| <b>Chapter 2 PS fabricated and passivated by O<sub>3</sub></b> .....                 | 11 |
| <b>§2.1 Fabrication of PS</b> .....  | 11 |
| §2.1.1 Conventional method .....   | 11 |
| §2.1.2 Modified method.....  | 12 |
| <b>§2.2 The oxidization of PS by XPS test</b> .....                                  | 13 |
| <b>§2.3 PL Comparison of fresh PSs</b> .....   | 18 |
| §2.3.1 Luminescence mechanism of PS .....  | 18 |
| §2.3.2 FTIR test .....   | 19 |
| <b>§2.4 Research of the PL stabilization of Modified PS</b> .....                    | 23 |
| §2.4.1 The PL degradation of 5-ini-O <sub>3</sub> -1h under laser.....               | 23 |
| §2.4.2 Stabilization of PL and chemical components of 5-ini-O <sub>3</sub> -1h ..... | 26 |
| §2.4.3 Storage of 5-ini-O <sub>3</sub> -1h.....                                      | 27 |
| <b>§2.5 Conclusion of Part I</b> .....   | 29 |
| <b>Reference</b> .....   | 30 |
| <b>Part II Fabrication of Si-MSM-PD</b> .....  | 32 |
| <b>Chapter 3 Principle and Design of Si-MSM-PD</b> .....                             | 33 |
| <b>§3.1 Principle of MSM-PD</b> .....  | 33 |
| §3.1.1 Energy Band.....  | 34 |
| §3.1.2 I-V characteristics .....   | 38 |
| §3.1.3 C-V characteristics.....  | 39 |
| §3.1.4 Other parameters .....  | 40 |
| <b>§3.2 Design of Si-MSM-PD with trench interdigitated electrodes</b><br>.....       | 42 |
| §3.2.1 Design of the U-shape trench electrodes .....                                 | 43 |
| §3.2.2 Design of the antireflection layer.....                                       | 44 |
| §3.2.3 Design of the space .....   | 45 |



|  |    |
|--|----|
| §3.2.4 Design of the electrodes.....                         | 46 |
| §3.2.5 The outcome design of Si-MSM-PD .....                 | 47 |
| <b>Reference</b> .....                                       | 49 |
| <b>Chapter 4 Mask design and technology of devices</b> ..... | 50 |
| §4.1 Mask design .....                                       | 50 |
| §4.2 Technology of devices.....                              | 52 |
| <b>Reference</b> .....                                       | 64 |
| <b>Chapter 5 Test and analysis of Si-MSM-PD</b> .....        | 65 |
| §5.1 Dark current.....                                       | 65 |
| §5.2 Photo current.....                                      | 70 |
| §5.3 Relative photoresponsivity spectrum .....               | 74 |
| §5.4 Absolute photoresponsivity spectrum .....               | 76 |
| §5.5 Conclusion of Part II .....                             | 79 |
| <b>Reference</b> .....                                       | 81 |
| <b>Chapter 6 Conclusion</b> .....                            | 82 |
| <b>Appendix</b> .....  | 84 |
| <b>Acknowledgement</b> .....                                 | 85 |

## 第一章 前言

长期以来,硅被认为是最重要的半导体和最佳的电子材料,半导体产值的95%以上是基于硅材料的。硅材料和器件工艺高度成熟,超大规模集成电路的特征尺寸已降至100nm以下。在信息时代,为实现超高容量的信息存储与信息传输和超高速度的信息处理,都要求以光子代替电子作为信息载体。相应地,微/纳电子集成要发展为微/纳光子集成<sup>[1]</sup>。微电子集成的基础材料是硅,普遍认为至少在近几十年内纳电子集成的基础材料还是硅。因此,硅是微/纳光子集成的基础材料之一。

硅基光子器件在过去的二十世纪已经取得有限的进展,除了硅基激光器,所有的其他硅基器件已经有所报道<sup>[2]</sup>:硅基波导<sup>[3,4]</sup>,硅探测器<sup>[5-9]</sup>,光调制器<sup>[10]</sup>,光开关系统<sup>[11]</sup>,硅发光二极管<sup>[12]</sup>,硅基光电耦合(发光二极管与光电探测器耦合)集成器件<sup>[13]</sup>等。最近,硅基发光研究也取得很重大的进展:2005年1月Intel公司的硅光子学技术实验室实现了可与微电子集成在一起的硅受激喇曼光泵脉冲激光<sup>[14]</sup>,紧接着他们又实现了硅受激喇曼光泵连续激光<sup>[15]</sup>。

尽管硅作为电子材料十分成功,但作为光子材料迄今所取得的进展也还是很有限,这主要是由于在硅基微/纳光子集成中存在一个关键的瓶颈:硅的发光效率极低。因为硅具间接带隙,为使电子从导带底跃迁至价带顶从而发射光子,必须提供大的动量,其跃迁几率比具直接带隙的III-V族化合物半导体小三个多量级。

“硅发光”是著名的难题,在半导体发展的60年历史中,仅在1990年Canham<sup>[16]</sup>发现多孔硅强发光之后,它才取得明显进展。许多研究人员对如何提高硅基材料的发光效率和稳定性及阐明其发光机理方面作了很多有益的探索。为了提高硅的发光效率,获得满足硅基光子集成必需的发光器件,近年来许多研究机构正在通过半导体的杂质工程或能带工程的方法来改善硅的发光效率,并取得了很大进展。比如在掺Er硅杂质发光<sup>[17]</sup>,制备SiGe/Si量子阱<sup>[18]</sup>,Si量子点<sup>[19]</sup>等,多孔硅发光等等。其中多孔硅发光是研究最早也研究得最久的一大课题,多孔硅与另一类硅基发光材料纳米硅镶嵌氧化硅有共同的结构和发光特征,其结构都是大量纳米硅为氧化硅所包裹,可统称为纳米硅/氧化硅体系。而纳米硅/氧化硅体系发光除了存在发光效率低之外还存在着严重的不稳定问题。

为了增强多孔硅表面的化学成分的稳定性从而使得多孔硅发光比较稳定,不同的实验设备方法纷纷被提出来,如表面氮钝化<sup>[20]</sup>,表面铁钝化<sup>[21]</sup>,表面碳钝化,<sup>[22-24]</sup>表面氧钝化等。其中将表面不稳定的Si-H<sub>x</sub>键经过钝化处理转化成比较稳定的Si-O<sub>x</sub>键是被广泛应用的有效后处理多孔硅的方法。V. Petrova-Koch<sup>[25]</sup>和L. Debarge<sup>[26]</sup>等人用快速热氧化(RTO)法将电化学腐蚀制得的多孔硅表面不稳定的Si-H<sub>x</sub>键转化成比较稳定的Si-O<sub>x</sub>键。Zain Yamani<sup>[27]</sup>等则提出了用H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+HF+CH<sub>3</sub>OH作为电解液来理想钝化多孔硅的方法,他们指出当H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:HF的比例超过2以后,样品即呈现理想钝化的特征。而S. A. Gavrilov<sup>[28,29]</sup>和S. Zangoie<sup>[30]</sup>等人则采用了HF:HCl:C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH电解液以及HCl/HF电解液来腐蚀制得稳定性和发光强度得到增强的多孔硅,他们通过计算阳极化腐蚀的化学反应平衡势和溶液的PH值后指出,HCl的加入使得溶液的PH值降低,而PH值较小的溶液,有利于生成表面稳定的Si-O<sub>x</sub>键。而复旦大学的Z. H. Xiong<sup>[31]</sup>等人则用紫外光照法制备出PL发光强度比初始样品增强超过20倍的多孔硅,并发现光助氧化后的多孔硅在激光照射下几个小时其发光非常稳定。但是,这些方法仍然未能完全氧化硅表面不稳定的Si-H<sub>x</sub>键,也未能对PL稳定性进行深入探讨。

本文则从这一问题出发,提出了用臭氧制备钝化多孔硅的方法,有效地制备了发光稳定的多孔硅,该方法工艺简单,并且室温下即可实现钝化效果。通过表面化学成分的测试分析了其发光稳定性的原因。该方法有望引申到对其他硅基发光材料的钝化,从而为硅基发光应用奠定更扎实的基础。

在硅微/纳光子集成中,除了硅基光源是最有待发展的课题之外,硅的光电探测器的性能提高也至关重要。硅光电探测器可应用于光纤通讯,芯片间的高速光互连等领域中。

半导体光电探测器可分成两大类。一类利用p-n结的光生伏特效应工作,另一类是利用半导体的光电导效应工作的。属于第一类探测器的有p-i-n光电二极管,雪崩光电二极管和电吸收光电探测器等。金属-半导体-金属(MSM)光电探测器也属于第一类型光电探测器,其工作原理与p-n结探测器没有本质上的差别,只是收集光生载流子的p-n结被金属-半导体接触形成的肖特基势垒结代替。MSM结构光电探测器是平面型结构,整套工艺制备简单,具备与FET或HEMT完全兼容,因此不仅大大提高了器件,电路的可靠性,而且为单片集成的发展打下了坚实的

工艺基础。所以已成为高速光通信，光互连和光电子集成电路（OEIC）的重要元件<sup>[32-34]</sup>。

1971年，S. M. Sze等发表了题为“MSM结构中的电流传输”的文章<sup>[35]</sup>，在当时提出了一种新型的器件结构。即在一块半导体的两面分别形成金属—半导体肖特基接触，并对其电流—电压特性作了系统的理论分析。同时将制成的MSM结构器件与理论作了比较。该文为MSM结构光电探测器打下了理论基础。20世纪80年代前期，MSM探测器成为开始在世界上引起重视的一种新型光电探测器。MSM探测器的最初工作开始于GaAs材料。由III—V族半导体化合物材料制备的MSM光电探测器的研究主要是应用于长波长(0.83 $\mu\text{m}$ 或1.55 $\mu\text{m}$ )的光吸收<sup>[36-39]</sup>。而对于0.83 $\mu\text{m}$ 波长的光探测器，除了GaAs的MSM结构光电探测器外，硅的MSM光电探测器也是很好的选择<sup>[40-44]</sup>。使用硅MSM探测器的主要优点是硅的成本比III—V族半导体低很多，并且很容易跟已经很成熟的硅基集成电路兼容。

近几年，在硅MSM探测器方面的研究取得了很大的进步，特别是在改善器件性能方面，如频率特性，瞬态响应特性，暗电流，响应速率和响应度等参数方面。在国际上已有不少报道。在抑制器件暗电流方面，1999年，M. Seto等<sup>[45]</sup>利用高温干氧化法在有源层上氧化了一层致密的氧化硅作为势垒增强层，有效降低了MISIM结构光电探测器的漏电流，其5V偏压下的漏电流为18 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ，该暗电流值是没有势垒增强层的MSM结构光电探测器的1/5以下，而光电响应度增加到0.39A/W，是没有势垒增强层的探测器的3.5倍大。而为了能够适用于0.83 $\mu\text{m}$ 光纤通讯，需要比较高速响应速率的光电探测器，在提升器件响应速率方面同样有一些研究报道。1994年，C.-C. Wang等<sup>[46]</sup>在SOS衬底上制备了具有500nm厚有源层的MSM探测器，该探测器对蓝光和红光的瞬态响应谱半高宽分别为4.5ps和5.7ps。而M. Y. Liu<sup>[47]</sup>等在SOI衬底上制备的探测器通过将有源层减薄到100nm厚，所测试得到的响应时间则为3.2ps。为提高探测器响应速率而减薄有源层厚度，另一方面导致了有源层只吸收了部分的光，减小电极收集光生载流子的数目，降低了器件的响应度。为保证提升探测器响应速率又不致降低探测器的响应度，Lee等人<sup>[48]</sup>和Erli Chen等<sup>[49]</sup>通过采用粗糙化有源层的表面，使进入有源层的光在背部的SBBR（埋层背部散射反射镜）和前表面全内反射膜（TIR）之间来回反射，使得光被有源层俘获的几率增大。Erli Chen等制备的具有SBBR的探测器比没有

SBBR探测器的响应度在 2V偏压下提高了一个数量级,对 633nm波长光的光电响应度从 15mA/W提升到 0.29A/W,对 850nm波长光的光电响应度则从 7.3mA/W提高到 130mA/W,探测器瞬态响应谱的半高宽为 5.4ps, -3dB下带宽为 82GHz。另外,台湾国立中央大学电子系的一个研究小组<sup>[50-53]</sup>制备的具有凹槽结构电极的MSM探测器,他们在半导体有源层和金属电极之间淀积了一层非晶势垒层,如i-a-Si:H单层或者n-a-Si:H/i-a-SiC:H/i-a-Si:H/n-a-SiC:H/p-a-SiC:H/i-a-Si:H多层非晶势垒层结构等,他们通过控制非晶势垒层的厚度,有效抑制了器件的暗电流,器件暗电流在nA量级。另外,制备的凹槽电极可以俘获更深层处的光生载流子,因此在提高器件响应速率的同时又提高了器件的响应度。

这些工作表明,硅 MSM 光电探测器的几个性能指标之间是可以通过器件结构优化来达到共同改善的。但是,这方面的研究在国内比较少。本文的第二部分将以提升探测器响应速率和响应度为主,设计并制备了U型凹槽电极结构的光电探测器,并且分析了平版电极与凹槽电极两种结构以及叉指间隙分别为 5 $\mu$ m 和 10 $\mu$ m 两种尺寸的器件性能的不同。器件最终测试的结果表明,在 5V 偏压下,利用 650nm 波长的激光照射,叉指尺寸为 5-5 $\mu$ m 的平版结构器件的响应度为 0.084A/W,而结构优化设计的凹槽结构器件的响应度提高到 0.486A/W,比平版结构器件提高了约 6 倍。由相对响应光谱知道,器件对 830nm 波长的光将有更大的光电响应度,有望应用于 0.83 $\mu$ m 的光纤通讯系统中。另外,我们的器件制备整套工艺流程都适合与硅基集成电路兼容,为将来制备硅微/纳光子集成做好准备。

## 参考文献

- [1]秦国刚, 纳米硅/氧化硅体系光致发光机制[J], 红外与毫米波学报, 2005, Vol.24, No.3:165-173.
- [2]G.Masini, L.Colace, G. Assanto, Si based optoelectronics for communications[J], Materials Science and Engineering B89(2002):2-9.
- [3]Kevin K. Lee, Desmond R. Lim, Hsin.-Chial Luan, et al., Effect of size and roughness on light transmission in a Si/SiO<sub>2</sub> waveguide: Experiments and model[J], Appl. Phys. Lett. 2000, 77:1617-1619.
- [4]T.Bestwick, ASOC™-a silicon-based integrated optical manufacturing technology[C], Proc 48<sup>th</sup> IEEE Electronic Components and Technology Conference, 25-28 May 1998:566-571.
- [5]S.M.Csutak, J.D.Schaub, W.E.Wu. et al., High-speed monolithically integrated silicon photoreceivers fabricated in 130-nm CMOS technology[J], Journal of Lightwave Technology, 2002, Vol.20, No.9:1724-1729.
- [6]M.Yang, K.Rim, D.L.Rogers, et al., A high-speed, high-sensitivity silicon lateral trench photodetector[J], IEEE Electron Device Letters, 2002, Vol.23, No.7:395-397.
- [7]G. Masini, L. Colace, G. Assanto, et al., High responsivity near infrared Ge photodetectors integrated on Si[J], Electron. Lett. 1999, Vol.35, No.17:1467-1468.
- [8]S.Winnerl, D.Buca, S. Lenk, et al., MBE grown Si/SiGe undulating layer superlattices for infrared light detection[J], Materials Science and Engineering B89 (2002):73-76.
- [9]M. EL kurdi, P.Boucaud, S. Sauvage, et al., Silicon-on-insulator waveguide photodetector with Ge/Si self-assembled islands[J], Journal of Applied Physics, 2002, Vol.92, No.4:1858-1861.
- [10]O.Bisi, S.U.Campisano, L.Pavesi, et al., Silicon Based Microphotonics: from Basics to Applications[M], IOS Press, Amsterdam, 1999.
- [11]G. Coppola, A. Irace, G. Breglio, et al., Three terminals optoelectronics devices integrated into a silicon on silicon waveguide[J], Optics and Lasers in Engineering, 2003, Vol.39:317-332.
- [12]M.A.Green, J.Zhao, A.Wang, et al., Efficient silicon light emitting diode[J],

- Nature, 2001, 412:805.
- [13]J. Zhao, M. A. Green, A. Wang, High-efficiency optical emission, detection, and coupling using silicon diodes[J], Journal of Applied Physics, 2002, Vol.92, No.6:2977-2979.
- [14]Rong H S, Liu A S, Jones R, et al., An all-silicon Raman laser[J], Nature, 2005, 433:292.
- [15]Rong H S, Jones R, Liu A S, et al., A continuous-wave Raman silicon laser[J], Nature, 2005, 433:725.
- [16]L. T. Canham, Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers[J], Appl. Phys. Lett, 1990, 57:1046-1048.
- [17]Jung H. Shin, Won-hee Lee, Hak-seung Han, 1.54  $\mu\text{m}$   $\text{Er}^{3+}$  photoluminescent properties of erbium-doped Si/SiO<sub>2</sub> superlattices[J], Applied Physics Letters, 1999, Vol. 74, No. 11:1573-1575.
- [18]QIN G G, HENG C L. BAI G F. et al., Electroluminescence from Au/(nanoscale Ge/nanoscale SiO<sub>2</sub>) superlattice/p-Si[J], Applied Physics Letters, 1999, Vol. 75, No. 23:3629-3631.
- [19]张胜坤, 陆肪, 蒋最敏等, 自组织生长镱量子点的库仑荷电效应[J], 物理, 第 27 期, (1998): 643.
- [20]李谷波, 张甫龙, 陈华杰等, 发光多孔硅的表面氮钝化[J], 物理学报, 1996, 45:1232-1238.
- [21]Xinjian Li, Deliang Zhu, Qianwang Chen, et al., Strong-and nondegrading-luminescent porous silicon prepared by hydrothermal etching[J], Appl. Phys. Lett. 1999, 74:389-391.
- [22]B. Gelloz, R. Boukherroub, D. D. M. Wayner, et al., Stabilization of porous silicon electroluminescence by surface passivation with controlled covalent bonds[J], Applied Physics Letters, 2003, Vol. 83, No. 12:2342-2344.
- [23]B. M. Kostishko, Yu. S. Nagornov, S. Ya. Salomatin, et al., The Interface Mechanism of Photoluminescence in Carbonized Porous Silicon[J], 2004, Vol. 30, No. 2:88-90.
- [24]Ming Shien Hu, Lu Sheng Hong, Surface carbonisation of Si(111) by C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> and the subsequent SiC(111) epitaxial growth from SiH<sub>4</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>[J], Journal of Crystal Growth, 2004, 265:382-389.
- [25]V. Petrova-Koch, T. Muschik, A. Kux, et al., Rapid-thermal-oxidized porous Si-The superior photoluminescence Si[J], Appl. Phys. Lett. 1992, 61(8):943-945.

- [26]L. Debarge, J.P. Stoquert, A. Slaoui, et al., Rapid thermal oxidation of porous silicon for surface passivation[J], *Materials Science in Semiconductor Processing* 1998, 1:281-285.
- [27]Zain Yamani, W. Howard Thompson, Laila AbuHassan, et al., Ideal anodization of silicon[J], *Appl. Phys. Lett.* 1997, 70(25):3404-3406.
- [28]S. A. Gavrilov, A. I. Belogorokhov, and L. I. Belogorokhova, A Mechanism of Oxygen-Induced Passivation of Porous Silicon in the HF:HCl:C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH Solutions[J], *SEMICONDUCTORS*, 2002, 36(1):98-101.
- [29]A. I. Belogorokhov, R. Enderlein, V. A. Karavanskii, et al., Enhanced photoluminescence from porous silicon formed by nonstandard preparation[J], *PHYSICAL REVIEW B* 1997, 56(16):10276-10282.
- [30]S. Zangoie, R. Jansson, H. Arwin, Microstructural control of porous silicon by electrochemical etching in mixed HCl/HF solutions[J], *Applied Surface Science* 1998, 136:123-130.
- [31]Z. H. Xiong, L. S. Liao, S. Yuan, et al., Effects of O, H and N passivation on photoluminescence from porous silicon[J], *Thin Solid Films*, 2001, 388:271-276.
- [32]J. S. Wang, C. G. Shin, W. H. Chang, et al., 11 GHz bandwidth optical integrated receivers using GaAs MESFET and MSM technology[J], *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, Vol. 5:316-318.
- [33]G. -K. Chang, W. P. Hong, J. L. Ginlett, et al., A 3 GHz transimpedance OEIC receiver for 1.33-1.55  $\mu$ m fiber-optic system[J], *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1990, Vol. 2: 197-199.
- [34]C. S. Harder, B. J. Van Zeghbroeck, H. Meier, et al., 5.2 GHz bandwidth monolithic GaAs optoelectronic receiver[J], *IEEE Electron Device Lett.*, 1988, Vol. 9:171-173.
- [35]S. M. Sze, *Semiconductor Devices: Physics and Technology*[M], John Wiley & Sons. Inc., 1985.
- [36]K. Kajijama, Y. Mizushima, and S. Sakata, Schottky barrier height on n-In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As diodes[J], *Appl. Phys. Lett.*, 1973, Vol. 23, No. 8:458 - 459.
- [37]H. Schumacher, H. P. Leblanc, J. Soole, and R. Bhat, An investigation of the optoresponse of GaAs/InGaAs MSM photodetectors[J], *IEEE Electron Device Lett.*, 1988, Vol. 9:607 - 609.
- [38]M. Klingenstein and J. Kuhl, Transit time limited response of GaAs



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库